

Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb von MIMO-Luftschnittstellen bei
Mobilkommunikationssystemen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betrieb von MIMO-Luftschnittstellen bei Mobilkommunikationssystemen, nach dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche.

MIMO- (Multiple-Input Multiple-Output) Systeme sind vielversprechende neue Funkübertragungstechniken für künftige Mobilfunkgenerationen „Beyond 3G“. Bei MIMO-Systemen werden auf dem Funk-Übertragungsweg ein oder mehrere HF-modulierte Signale von einer Anzahl m MI-Antennen abgestrahlt und von einer Anzahl n MO-Antennen empfangen. Ein MIMO-Kanal wird somit aus m Sendeantennen, n Empfangsantennen und einer Vielzahl von im Allgemeinen zeitvarianten Subkanälen zwischen den Sende- und Empfangsantennen, die auch als Diversity-Kanäle aufgefasst werden können, gebildet. In Figur 1 ist beispielhaft eine Mobilfunkverbindung mit einer Basisstation 1, die wesentlich einen Modulator/Demodulator für die Datenquelle/-senke, einen MIMO-Prozessor und eine HF-Sende-/Empfangsstufe enthält, drei von Signalausgängen A, B, C gespeiste MI-Antennen 2, einer mobilen Station 3 mit grundsätzlich den gleichen Elementen wie Basisstation 1, zwei MO-Antennen 4 und Subkanälen 5 dargestellt. Wenn die Subkanäle statistisch unabhängig sind, wächst die Wahrscheinlichkeit, das Sendesignal fehlerfrei zu empfangen mit der Anzahl der Antennen. Für die optimale Kombination der MIMO-Subkanäle, die mit den MIMO-Prozessoren realisiert wird, sind viele Verfahren und Algorithmen sowohl auf der Sender- als auch auf der Empfängerseite bekannt, beispielsweise in WO 03 041300 A1.

Die Vorteile von MIMO-Verfahren bestehen in einer deutlich effizienteren Frequenznutzung gegenüber bisherigen Verfahren (z. B. 2G, 3G), einer reduzierten EMVU-Belastung durch geringere Sendeleistungen sowie einer hohen Robustheit gegen Fading, siehe z.B. BLAST (Bell Labs Layered Space

BEST AVAILABLE COPY

Time) -Technologie. Vorteilhaft werden MIMO-Systeme bei orthogonalen Vielfach-Zugriffsverfahren, wie CDMA, TDMA, FDMA oder Kombinationen aus diesen, angewandt.

5 Optimale Ergebnisse werden mit MIMO im Rayleigh-Kanal, d.h. Empfang nur durch Streuung, erreicht.

Die Effizienz von MIMO- Systemen beruht auf der statistischen Unabhängigkeit der MIMO-Subkanäle.

10 Die vorliegende Erfindung betrifft die MIMO-Luftschnittstellen, speziell die Antennen. Unter der Voraussetzung der Reziprozität des Funkkanals ergeben sich gleiche Verhältnisse für die umgekehrte Übertragungsrichtung.

Dicht benachbarte Antennen gleicher Polarisierung haben eine hohe Korrelation der gesendeten oder empfangenen Signale mit dem komplexen Korrelationsfaktor ρ . Um mittels Raum-Diversity signifikante Dekorrelationen mit z.B. $|\rho| < 0,2$ zu erreichen, sind bei herkömmlichen Mobilfunk-
15 Feststationsantennen mit vertikaler Polarisierung und Öffnungswinkeln von 60° in der Horizontalebene und 20° in der Vertikalebene Antennenabstände von mehr als ca. 20λ horizontal und mehr als ca. 3λ vertikal erforderlich. Raum-
20 Diversity erfordert große Abmessungen und ist daher für mobile Geräte wenig geeignet.

Eine Lösung bieten Polarisations-Diversity-Verfahren. Diese sind für MIMO-Systeme z.B. in WO 02/058187 A1, WO 02/099995 A2 und US 6 049 705 A (hier speziell für mobile Funkgeräte) veröffentlicht.

25 Die beschriebenen Übertragungseinrichtungen arbeiten mit unveränderlicher, orthogonaler Polarisierung der einzelnen MI- und MO-Antennen. Diese Anordnungen haben den Nachteil, dass für jeden MIMO-Subkanal eine Antenne benötigt wird.

30 Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Anordnung zum Betrieb von Luftschnittstellen bei Mobilkommunikationssystemen anzugeben,

bei der der Platzbedarf für Antennen und die Dekorrelation der Subkanäle auf der Luftschnittstelle deutlich verbessert werden.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass den auf den Subkanälen auszusendenden und zu empfangenden Signalen unterschiedliche Polarisationen zugewiesen werden, und die Signale einer gemeinsamen
10 Antenne zugeführt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird als Antenne ein Antennenarray mit räumlich eng benachbarten Teilantennen verwendet, im Ausführungsbeispiel ein Kreuzdipol. Vorzugsweise fallen die Phasenzentren
.15 der Teilantennen zusammen.

Die Zuweisung der Polarisationen der auf den Subkanälen ausgesendeten Signale wird vorzugsweise von einer Steuerungseinrichtung gesteuert. Dabei werden die Polarisationen der auf den Subkanälen ausgesendeten in
20 vorgegebenen Zeitabständen geändert, vorzugsweise synchron geändert. Eine Möglichkeit ist, die Polarisationen der auf den Subkanälen ausgesendeten Signale in vorgegebenen Zeitabständen untereinander zu vertauschen.

Es kann aber auch vorgesehen sein, jedem auf den Subkanälen
25 ausgesendeten Signal eine aus einer Menge von vorgegebenen Polarisationen jeweils eine zufällig ausgewählte Polarisation zuzuweisen. Dabei darf keine Polarisation doppelt vergeben werden.

Für den Fall, dass das auf dem MIMO-Kanal ausgesendete Funksignal durch
30 einen digitalen Datenstrom moduliert ist, werden die Polarisationswechsel derart gesteuert, dass die Polarisationen der auf den Subkanälen ausgesendeten Signale für die Zeitdauer von mindestens einem Bit des

Datenstroms gleich bleiben. Die Polarisationswechsel können aber auch derart gesteuert werden, dass die Polarisationen der auf den Subkanälen ausgesendeten Signale während der Dauer eines Bits des Datenstroms mindestens einmal wechseln.

5

Die Steuerungseinrichtung nimmt über entsprechende Einrichtungen, wie Phasenschieber, Verzögerungsleitungen, Leistungsteiler, Einfluss auf die Polarisation der auf den Subkanälen ausgesendeten Signale, wobei die Polarisationen durch das Verhältnis der Beträge ihrer Leistungen a bzw. $(1-a)$ und/oder ihre gegenseitige Phasenlage und/oder ihren Zeitversatz τ_1, τ_2 bestimmt werden. Die Anzahl der schaltbaren Polarisationen muss mindestens so groß sein, wie die Anzahl m der Subkanäle.

Erfindungsgemäß werden mit je einer Antenne, die mehrere Polarisationen gleichzeitig abstrahlen bzw. empfangen kann, viele unkorrelierte MI- und MO-Subkanäle realisiert. Der Vorteil von MIMO-Verfahren, der bisher nur mit mehreren räumlich verteilten Antennen erreicht wurde, wird gemäß der Erfindung mit nur einer Antenne erzielt.

Vorzugsweise können die Beträge der zeitlich gemittelten Korrelationsfaktoren ρ der MIMO-Kanäle verringert werden, indem die Polarisationen der Antennen ständig geändert werden, wobei die Polarisationen bei einem digital modulierten Funksignal

- über mindestens ein Bit gleich bleibt oder
- mindestens einmal pro Bit wechselt.

25

Wenn die Subkanäle CDMA-Kanäle sind, beziehen sich die Polarisationswechsel auf einen Chip.

Im Folgenden werden einfache Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungsfiguren näher erläutert.

30

- Figur 1 zeigt beispielhaft den generellen Aufbau eines MIMO-Kommunikationssystems nach dem Stand der Technik;
- Figur 2 zeigt beispielhaft einen erfindungsgemäßen Aufbau eines MIMO-Kommunikationssystems;
- 5 Figur 3 zeigt die Anwendung von Y-Zirkulatoren bei dem Aufbau gemäß Figur 2;
- Figur 4 zeigt ein spezielles Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen MIMO-Kommunikationssystems unter Verwendung eines Kreuzdipols.
- Figur 5 zeigt eine Darstellung des elektrischen Feldes einer sich in
- 10 z-Richtung, das heißt senkrecht zur Dipolebene, ausbreitenden Welle eines Kreuzdipols.

Erfindungsgemäß wird die Dekorrelation der Subkanäle eines MIMO-Funksignals durch Polarisationsentkopplung erreicht. Die Polarisation einer

15 ebenen elektromagnetischen Welle ist allgemein links- oder rechtsdrehend elliptisch, in Sonderfällen linear oder zirkular. Die Drehrichtung der Polarisation ist nach IEEE rechts-drehend definiert, wenn die Spitze des elektrischen Feldvektors vom Sender aus betrachtet im Uhrzeigersinn dreht. Dieser Definition liegt die zeitliche Abhängigkeit des elektrischen Feldvektors

20 an einem festen Ort zugrunde.

Die Funksignale A, B, C aus der Funkanlage 1 gemäß Figur 1 werden, statt auf mehrere Antennen, nur auf eine Antenne geführt, die die Signale mit m unterschiedlichen Polarisationen superpositioniert und abstrahlt. Damit wird

25 die Einsparung von räumlich versetzten Antennen erreicht. Die Antenne besteht aus einem Antennenarray mit mehreren räumlich dicht beieinander liegenden Teilantennen.

Im Ausführungsbeispiel nach Figur 2 werden die MI-Funksignale A, B, C der

30 in Figur 1 gezeigten Funkanlage 1 mit Leistungsteilern 6.1 bis 6.3 auf jeweils zwei Zweige mit den normierten Leistungen a_i und $(1-a_i)$ mit $0 \leq a_i \leq m$ aufgeteilt. Beide Verteilerausgänge jedes MI-Subkanals mit den Leistungen a_i

und $(1-a_i)$ werden um die Zeiten τ_{i1} und τ_{i2} mittels Verzögerungsleitungen 7.1 bis 7.6, die z.B. aus schaltbaren Leitungsstücken oder Phasenschiebern bestehen können, verzögert. Durch je eine Verzögerung in beiden Zweigen eines MI-Subkanals, wobei im Allgemeinen $\tau_{i1} = 0$ oder $\tau_{i2} = 0$ gesetzt wird, kann die Welle wahlweise in jedem Zweig voreilen; dadurch kann mit der Antenne 8 links- oder rechtsdrehende Polarisierung erzeugt werden. Entsprechend der Einstellungswerte von a_i , τ_{i1} und τ_{i2} können Wellen mit beliebiger Lage und Drehsinn der Polarisationsellipse, einschließlich der Ausartung zur Geraden, gesendet werden.

10

Um die gegenseitige Rückwirkung der MI-Subkanäle zu vermeiden, werden die beiden Zweige für jeden MI-Kanal über Richtkoppler 10.1 bis 10.6 auf die Antenne geführt. Die Wellen aus den Zweigen 1 der Richtkoppler 10.1, 10.3 und 10.5 werden in einer z.B. linear polarisierten Teilantenne A_1 überlagert, die aus den Zweigen 2 der Richtkoppler 10.2, 10.4 und 10.6 in einer Teilantenne A_2 mit orthogonaler Polarisierung. Die Teilantennen A_1 und A_2 sind sehr dicht benachbart und bilden ein Antennenarray. Vorzugsweise fallen die Phasenzentren der Teilantennen zusammen. Als Antennen können linear oder zirkular polarisierte Antennen mit orthogonaler Polarisierung oder Hornstrahler mit geeignetem Anregungsmodus verwendet werden.

20

Die Umschaltung der Polarisierung der MI-Antenne erfolgt über mehrere Bits oder mehrmals pro Bit und wird durch eine Steuerungseinrichtung 9 gesteuert.

25 Für die Polarisationswechsel sind vorzugsweise zwei Algorithmen vorgesehen:

1. Synchrone, zyklische Umschaltung aller MI-Kanäle (Polarisierung von MI-Kanal A wird nach einer Verweilzeit auf MI-Kanal B geschaltet; Polarisation von MI-Kanal B wird auf MI-Kanal C geschaltet usw.)
- 30 2. Durch Zufall erzeugte Polarisierung der MI-Kanäle.

Die Polarisationen der MI-Subkanäle können z.B. sein: horizontal, vertikal, lineare Polarisation unter 45° und 135° zum Erdboden, zirkular links-/rechtsdrehend, elliptisch links-/rechtsdrehend (mit wählbarem Achsenverhältnis und Lage zum Erdboden) usw. Die Anzahl der schaltbaren Polarisationszustände soll mindestens so groß wie die Anzahl m der MI-Subkanäle sein.

Um die gegenseitige Rückwirkung der MI-Subkanäle zu vermeiden, werden die beiden Zweige für jeden MI-Kanal zur Antenne über Richtkoppler 10.1 bis 10.6 auf die Antennenteile A_1 und A_2 geführt. Alternativ können bei zwei MI-Kanälen zwei Y-Zirkulatoren und für $m > 2$ kaskadierte Y-Zirkulatoren zum Zusammenschalten der MI-Antennen verwendet werden Figur 3.

Als Ausführungsbeispiel für die Dekorrelation von MI-Subkanälen mit einer Antenne sei als einfaches Ausführungsbeispiel ein Kreuzdipol 11 betrachtet Figur 4. Ein Kreuzdipol wird als eine Zusammenschaltung von zwei linear polarisierten, orthogonalen Dipolen 11.1 und 11.2 betrachtet, deren Phasenzentren zusammenfallen.

Als Richtantenne kann der Kreuzdipol vor einem Reflektor angeordnet werden.

Dipole haben die Vorteile

- einfacher konstruktiver Aufbau
- Breitbandigkeit durch entsprechende Formgebung der Dipole (z.B. Verhältnis Durchmesser/Länge bei zylindrischen Dipolen)

Die Leistung eines Senders 1 wird im Leistungsteiler 6.1 (vgl. auch Figur 2) auf die Leistungsanteile a und $(1 - a)$ aufgeteilt. Nach der Verzögerung der beiden Signalkomponenten um τ_1 bzw. τ_2 in den Verzögerungsleitungen 7.1 und 7.2 werden die Signale auf die beiden Dipole 11.1 und 11.2 geführt. Bei praktischen Ausführungen beträgt die Gesamtlänge eines Dipols im Allgemeinen ca. $\lambda/2$.

Das elektrische Feld einer sich in z-Richtung, das heißt senkrecht zur Dipolebene, ausbreitenden Welle des Kreuzdipols 11 wird nach Figuren 4 und 5 beschrieben durch den zweidimensionalen Vektor:

5
$$\underline{E}(t) = \underline{e}_x \cdot a \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot z + \delta_x) + \underline{e}_y \cdot (1 - a) \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot z + \delta_y)$$

mit der Wellenzahl $k = 2\pi/\lambda$ und der Phase $\delta = 2 \cdot \pi \cdot c \cdot \tau_i/\lambda$.

Folgende Polarisationen der MIMO-Antennen sind mit den Einstellungen τ_1, τ_2
10 und a beispielhaft möglich (s. z.B. Kraus, John D.: „Antennas“, 1950, und Schrott/Stein: „Bedeutung und Beschreibung der Polarisation elektromagnetischer Wellen“, 1980):

a	1	0	0,5	0,5	<1	<1	0,5	0,5	0,5	0,5
τ_1	bel	bel	$\lambda/4 \cdot c$	0	$\lambda/4 \cdot c$	0	$\lambda/2 \cdot c$	0	$< \lambda/2 \cdot c$	0
τ_2	bel	bel	0	$\lambda/4 \cdot c$	0	$\lambda/4 \cdot c$	0	0	0	$< \lambda/2 \cdot c$
Pol	hor	vert	zir-re	zir-li	ell-re	ell-li	45°	135°	ell-re	ell-li

15 **Tabelle 1**

(Pol: Polarisation; bel: beliebig; hor: horizontal; vert: vertikal; zir-li: linkszirkular; zir-re: rechtszirkular; ell-li: elliptisch linksdrehend; ell-re: elliptisch rechtsdrehend; 45°: linear unter 45° zum Erdboden; 135°: dschl. unter
20 135°)

Der Orientierungswinkel φ der Ellipsenhauptachse bezüglich des Erdbodens beträgt:

25
$$\tan 2\varphi = 2a(a - 1)/(a^2 - (1 - a)^2) \cdot \cos \delta$$

mit der Phase des Polarisationsverhältnisses $\delta = \beta_y - \beta_x$.

Der Elliptizitätswinkel ε als Maß für das Achsenverhältnis der Ellipse (Tangens der Achsen) wird bestimmt aus:

$$\tan 2\varepsilon = \tan \delta \cdot \sin 2\varphi.$$

5

Damit ist die Form und Lage der Polarisationsellipse durch a und τ_i festgelegt.

Vorteilhaft ist, dass elliptische Polarisationen sowohl durch die Aufteilung a bzw. $(1-a)$ der Sendeleistung und der Verzögerungszeiten τ_i (Phasenlage) der
10 Signale, als auch, in engeren Grenzen, nur durch τ gesteuert werden können, wenn $0 < a < 1$ gewählt wird (siehe Tabelle 1).

Liste der Bezugszeichen

	1	Basisstation (Sende-/Empfangsanlage)
5	2	MI-Antenne
	3	Mobilstation
	4	MO-Antenne
	5	MIMO-Subkanäle
	6	Leistungssteiler (6.1-6.3)
10	7	Verzögerungselemente (7.1-7.6)
	8	Antenne (8.1, 8.2)
	9	Steuerungseinrichtung
	10	Richtkoppler (10.1-10.6)
	11	Kreuzdipol (11.1, 11.2)
15	12	Y-Zirkulator (12.1, 12.2)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb von MIMO-Luftschnittstellen bei
Mobilkommunikationssystemen, bei dem ein Funksignal (A; B; C) über
5 einen eine Anzahl von m Subkanälen (5) umfassenden MIMO-Kanal von
einer Sendeeinrichtung (1) ausgesendet und von einer
Empfangseinrichtung (3) empfangen wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass den auf den Subkanälen (5) auszusendenden und zu empfangenden
10 Signalen unterschiedliche Polarisationen zugewiesen werden, und die
Signale einer gemeinsamen Antenne (8; 11) zugeführt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Antenne
(8; 11) ein Antennenarray mit räumlich eng benachbarten Teilantennen
15 (8.1, 8.2; 11.1, 11.2) verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Phasenzentren der Teilantennen
zusammenfallen.
20
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Zuweisung der Polarisationen der auf den
Subkanälen (5) ausgesendeten Signale von einer Steuerungseinrichtung
(9) gesteuert wird.
25
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Polarisationen der auf den Subkanälen (5)
ausgesendeten in vorgegebenen Zeitabständen geändert werden.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Polarisationen der auf den Subkanälen (5)
ausgesendeten Signale synchron geändert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Polarisationen der auf den Subkanälen (5) ausgesendeten Signale in vorgegebenen Zeitabständen untereinander
5 vertauscht werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem auf den Subkanälen (5) ausgesendeten Signal eine aus einer Menge von vorgegebenen Polarisationen zufällig
10 ausgewählte Polarisation zugewiesen wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das auf dem MIMO-Kanal ausgesendete Funksignal (A; B; C) durch einen digitalen Datenstrom moduliert ist, wobei
15 die Polarisationen der auf den Subkanälen (5) ausgesendeten Signale für die Zeitdauer von mindestens einem Bit des Datenstroms gleich bleiben.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das auf dem MIMO-Kanal ausgesendete Funksignal (A; B; C) durch einen digitalen Datenstrom moduliert ist, wobei
20 die Polarisationen der auf den Subkanälen (5) ausgesendeten Signale während der Dauer eines Bits des Datenstroms mindestens einmal wechseln.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Polarisation der auf den Subkanälen (5) ausgesendeten Signale durch das Verhältnis der Beträge ihrer Leistungen a bzw. $(1-a)$ und/oder ihre gegenseitige Phasenlage und/oder ihren Zeitversatz (τ_1, τ_2) bestimmt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der schaltbaren Polarisationen mindestens so groß ist wie die Anzahl m der Subkanäle (5).
- 5 13. Vorrichtung zum Betrieb von MIMO-Luftschnittstellen bei Mobilkommunikationssystemen, mit einer Sendeeinrichtung (1) zum Aussenden eines Funksignals (A; B; C) über einen mehrere Subkanäle (5) umfassenden MIMO-Kanal, und einer Empfangseinrichtung (3) zum Empfang des Funksignals,
10 **gekennzeichnet durch** Einrichtungen (6; 7; 12) zur Erzeugung unterschiedlicher Polarisationen der auf den Subkanälen (5) ausgesendeten und zu empfangenden Signale, und
15 einer Antenne (8; 11), der alle unterschiedlich polarisierten Signale der Subkanäle (5) zugeführt werden.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antenne (8; 11) ein Antennenarray mit mindestens zwei räumlich eng benachbarten Teilantennen (8.1, 8.2; 11.1, 11.2) umfasst, wobei jeder
20 Teilantenne ein Signal eines Subkanals (5) zugeführt wird.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenzentren der Teilantennen zusammenfallen.
25
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antenne (11) ein Kreuzdipol ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch**
30 **gekennzeichnet**, dass die Einrichtungen Mittel (7; 12) zur Veränderung der Phasenlage und/oder des Zeitversatzes (τ) der Funksignale umfassen.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen Mittel (6) zur Aufteilung des Funksignals in mehrere Teilsignale unterschiedlicher Leistung a und 1-a umfasst.

5

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuerungseinrichtung (9) zur Steuerung der Einrichtungen (6; 7; 12) vorgesehen ist.

10

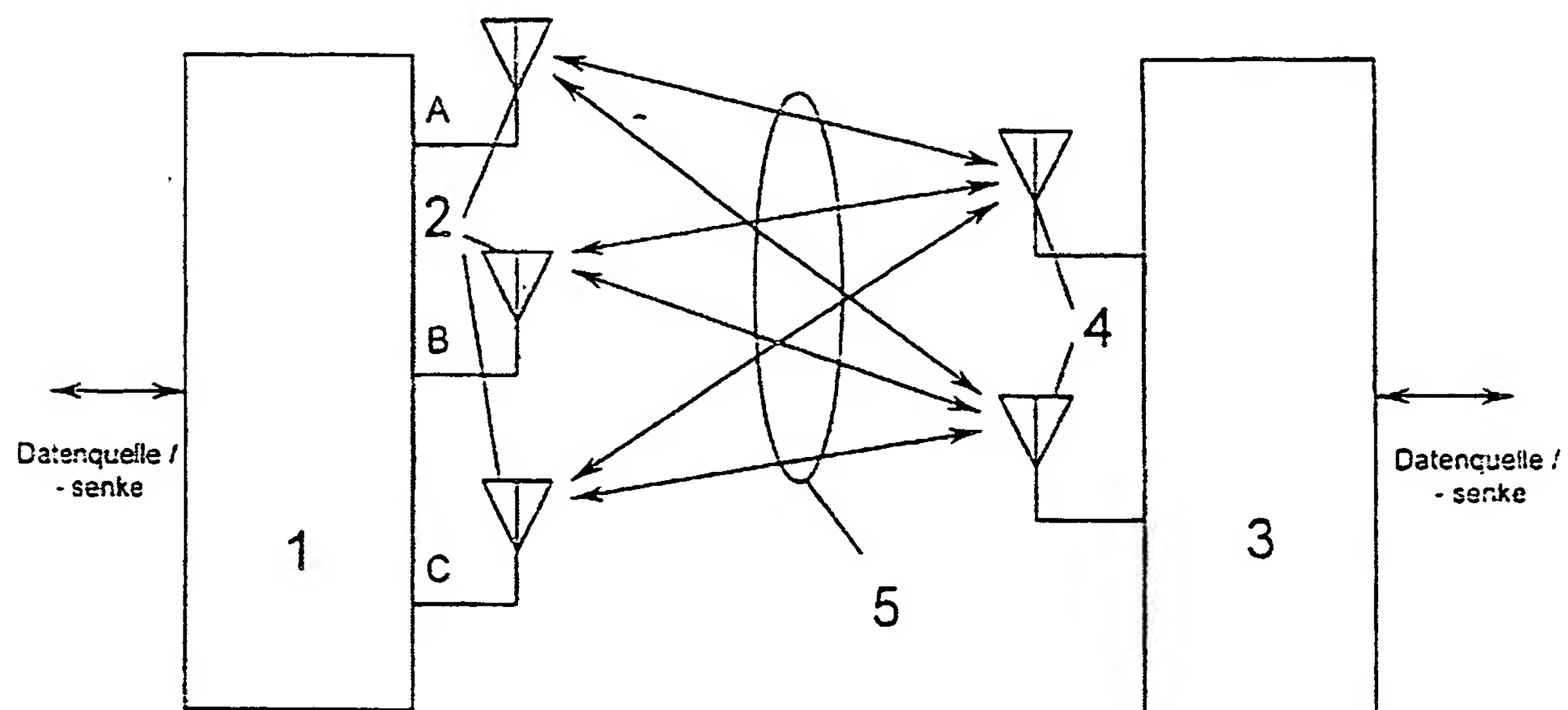


Fig. 1

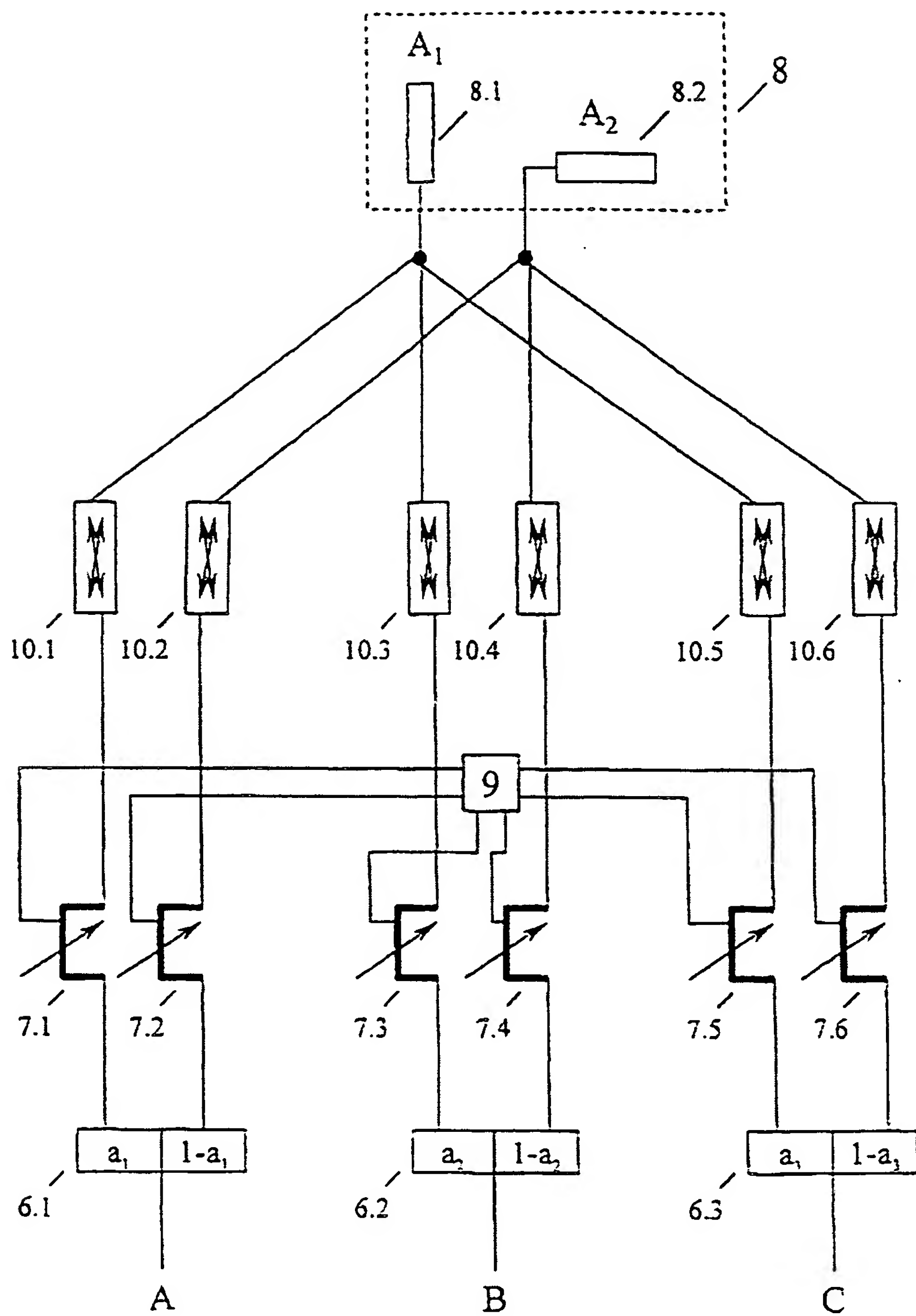


Fig. 2

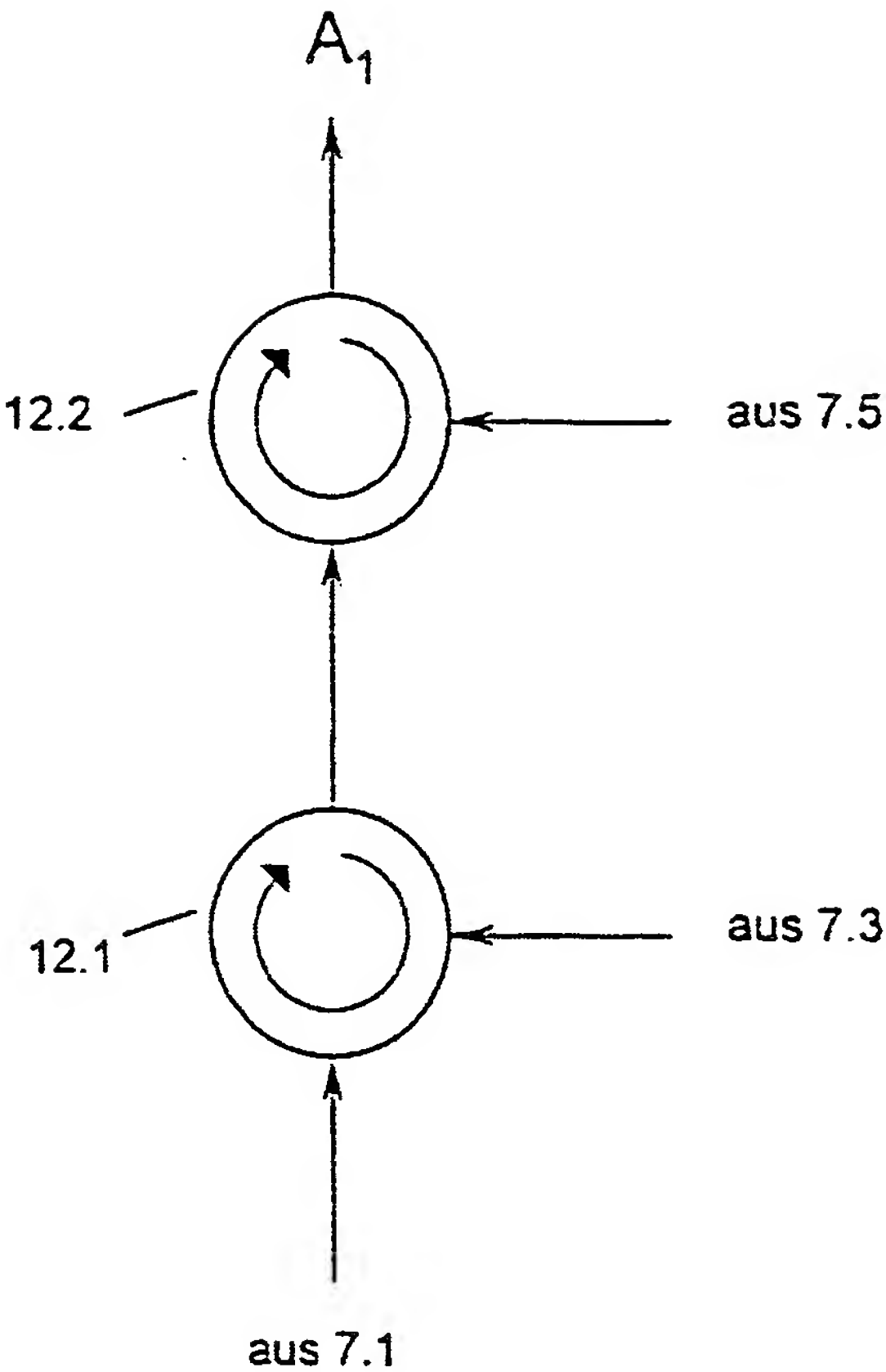


Fig. 3

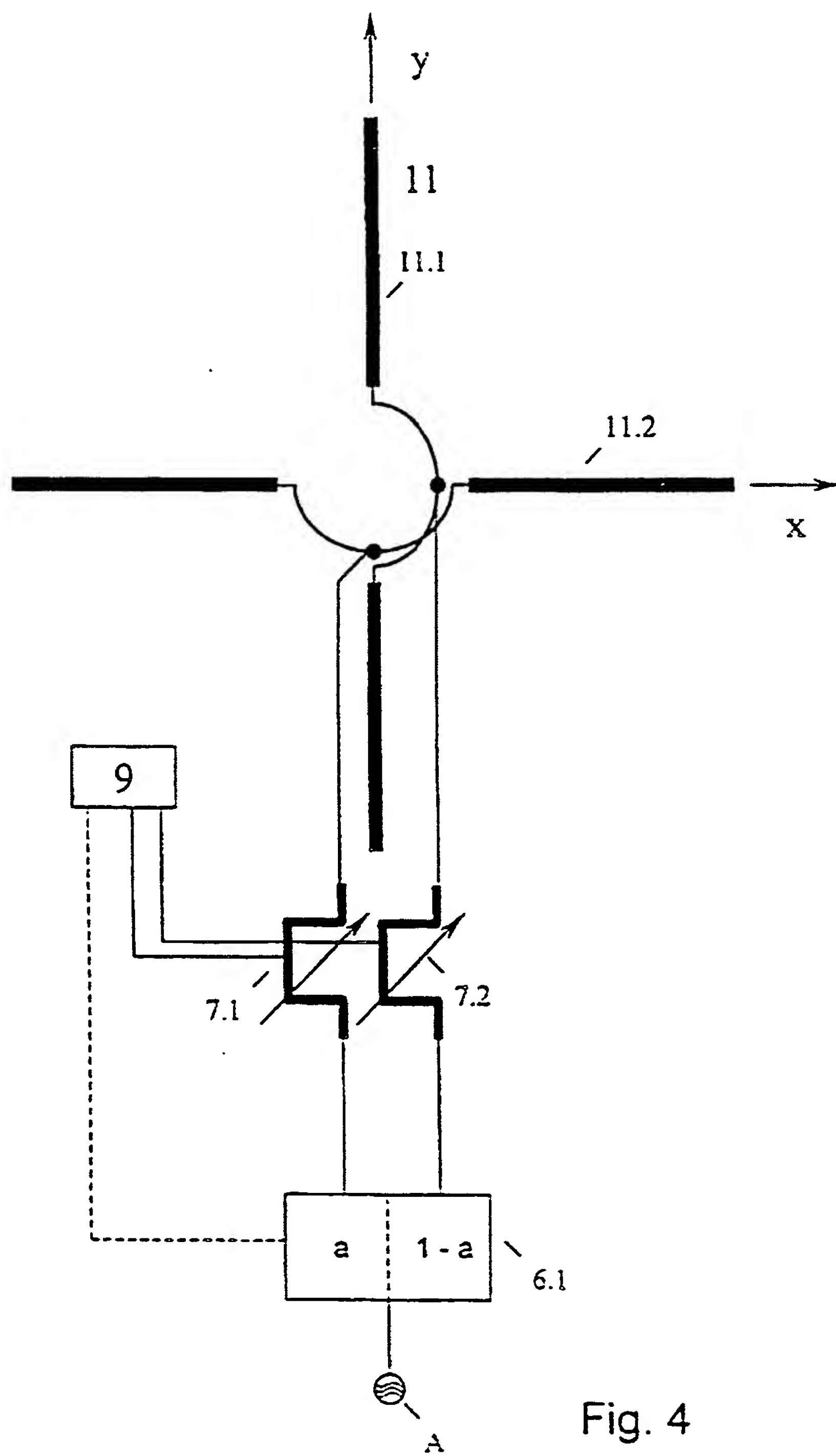


Fig. 4

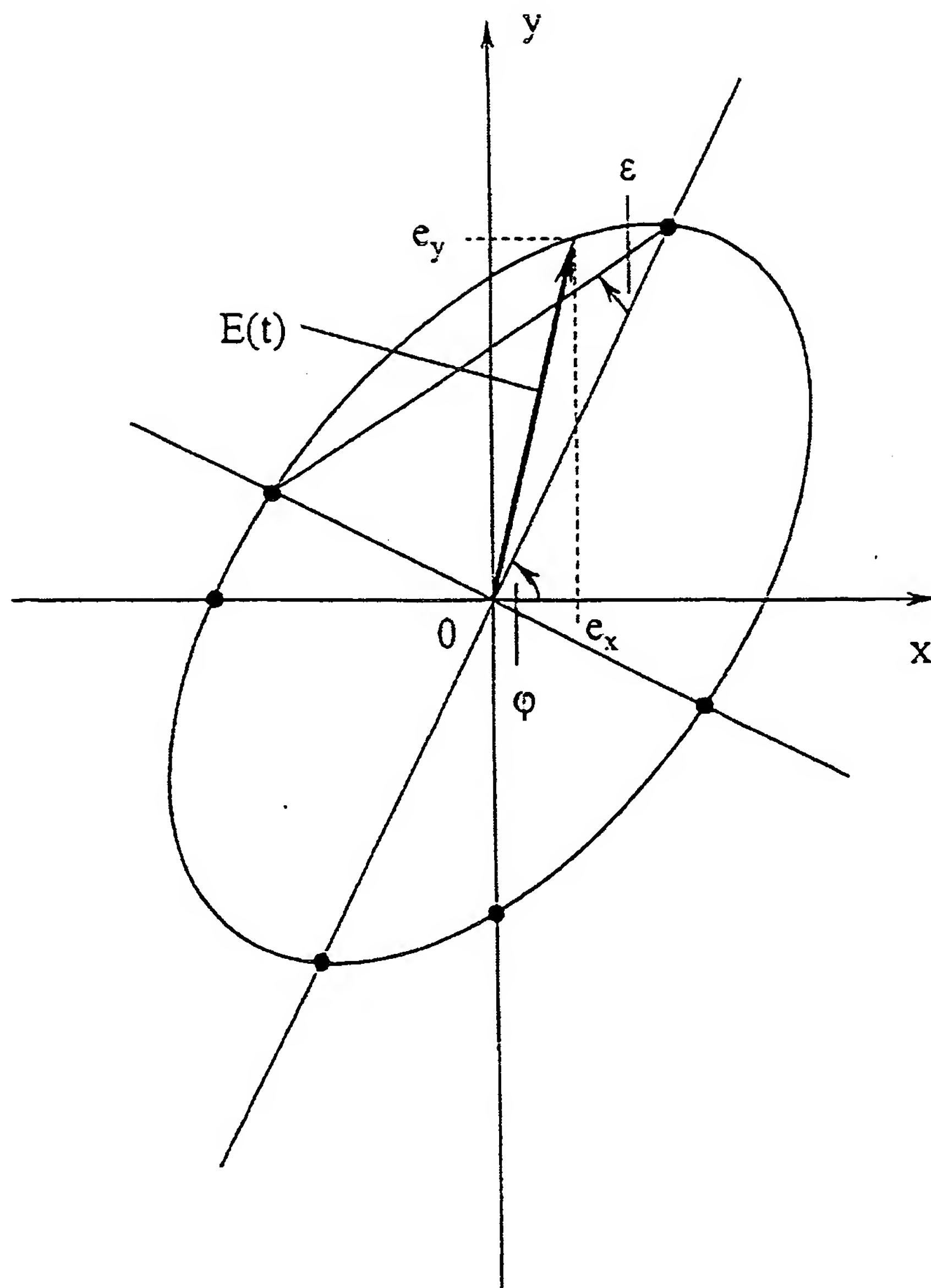


Fig. 5

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.